

2016—2018年河南洛阳市主要大气污染物对心脑血管疾病门诊量的影响

郭恒亮^{1a, 1b, 2}, 王孟飞^{1c}, 龚喜云³, 魏海涛^{1b, 2}

1. 郑州大学 a. 河南省超级计算中心 b. 地球科学与技术学院 c. 化学学院, 河南 郑州 450001
2. 郑州大学中国气象科学研究院郑州大学生态气象联合实验室, 河南 郑州 450001
3. 郑州大学第一附属医院, 河南 郑州 450001

摘要:

[背景] 心脑血管疾病占我国居民死因首位, 但目前的研究更侧重于经济发达或污染严重地区, 且不同地区研究结果存在差异。

[目的] 探究河南省洛阳市主要大气污染物 (PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO、O₃) 对洛阳市心脑血管疾病门诊量的影响。

[方法] 收集洛阳市2016年1月1日—2018年12月31日的心脑血管疾病门诊信息以及同期大气污染物浓度数据和气象数据。利用广义相加模型分别建立单污染物模型、双污染物模型, 以及年龄、性别和季节的分层模型, 并计算单日滞后 (lag0~lag7) 和累积滞后 (lag0~lag07) 的相对危险度 (RR) 及95%置信区间 (CI)。

[结果] 2016—2018年洛阳市的心脑血管疾病门诊量共208355例。同期PM₁₀、PM_{2.5}分别超标277、82 d, NO₂、CO、O₃分别超标48、9、8 d, SO₂日均浓度不超标。单污染物模型结果显示, PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO、O₃最佳滞后时间分别是lag0、lag3、lag6、lag2、lag0、lag04, 对应的RR及95%CI分别为1.0024 (1.0011~1.0037)、1.0017 (1.0010~1.0025)、0.9767 (0.9696~0.9840)、1.0277 (1.0236~1.0319)、1.0006 (1.0004~1.0007)、1.0041 (1.0014~1.0069)。双污染物模型中, 各污染物引入其余污染物前后结果基本都有统计学意义 ($P < 0.05$)。性别分层和年龄分层结果均显示NO₂是危害性最大的污染物: NO₂对男性和女性心脑血管疾病门诊量影响的最佳滞后时间分别为lag2、lag01, 对应的RR及95%CI分别为1.0293 (1.0235~1.0351)、1.0277 (1.0218~1.0335), 对0~40、41~65、65岁以上人群心脑血管疾病门诊量影响的最佳滞后时间为分别为lag4、lag3、lag2, 对应的RR及95%CI分别为1.0359 (1.0009~1.0720)、1.0277 (1.0215~1.0339)、1.0311 (1.0255~1.0367)。季节分层结果显示: PM_{2.5}、SO₂、NO₂和CO最大效应值出现在春季, 对应的RR及其95%CI分别为1.0220 (1.0188~1.0253)、1.0733 (1.0570~1.0899)、1.0626 (1.0531~1.0721)、1.0015 (1.0011~1.0019); PM₁₀和O₃的最大效应值出现在夏季, 对应的RR及其95%CI分别为1.0130 (1.0089~1.0171)、1.0184 (1.0133~1.0235)。

[结论] 洛阳市2016—2018年大气主要污染物PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、CO、O₃浓度升高可能导致居民心脑血管疾病门诊量增加, 其中NO₂是造成风险最高的一种污染物, 且各污染物均存在滞后效应。

关键词: 大气污染物; 心脑血管疾病; 日门诊量; 广义相加模型; 时间序列分析

Influence of main air pollutants on hospital outpatient visits for cardiovascular and cerebrovascular diseases in Luoyang of Henan Province in 2016–2018 GUO Hengliang^{1a, 1b, 2}, WANG Mengfei^{1c}, GONG Xiyun³, WEI Haitao^{1b, 2} (1.a.Henan Province Supercomputing Center b.The School of the Geo-Science & Technology c.College of Chemistry, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China; 2.Joint Laboratory of Eco-meteorology, Chinese Academy of Meteorological Sciences and Zhengzhou University, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China; 3.The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China)

Abstract:

[Background] Cardiovascular and cerebrovascular diseases top the general causes of death among Chinese residents. However, current research focuses more on economically developed or heavily polluted areas, and the research results are inconsistent across regions.

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2021.20445

基金项目

国家重点研发计划资助项目 (2018YFB0505004-03); 河南省重点研发与推广专项 (科技攻关) 项目 (192102210124)

作者简介

郭恒亮 (1971—), 男, 硕士, 副教授;
E-mail: guohengliang@zzu.edu.cn

通信作者

魏海涛, E-mail: zzu_wei@163.com

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-09-27

录用日期 2021-03-04

文章编号 2095-9982(2021)04-0389-08

中图分类号 R12

文献标志码 A

►引用

郭恒亮, 王孟飞, 龚喜云, 等. 2016—2018年河南洛阳市主要大气污染物对心脑血管疾病门诊量的影响 [J]. 环境与职业医学, 2021, 38 (4): 389-396.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20445

Funding

This study was funded.

Correspondence to

WEI Haitao, E-mail: zzu_wei@163.com

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2020-09-27

Accepted 2021-03-04

►To cite

GUO Hengliang, WANG Mengfei, GONG Xiyun, et al. Influence of main air pollutants on hospital outpatient visits for cardiovascular and cerebrovascular diseases in Luoyang of Henan Province in 2016–2018[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2021, 38(4): 389-396.

►Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20445

[Objective] This study investigates the impact of major atmospheric pollutants ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 , CO , and O_3) on the number of hospital outpatient visits for cardiovascular and cerebrovascular diseases in Luoyang of Henan Province from 2016 to 2018.

[Methods] Outpatient information of cardiovascular and cerebrovascular diseases, atmospheric pollutant concentration data, and meteorological data in Luoyang from January 1, 2016 to December 31, 2018 were collected. Generalized additive models (GAMs) were chosen to construct single-pollutant models, double-pollutant models, and stratified models of age, gender, and season. The relative risks (RRs) and 95% confidence intervals (CIs) of single-day and cumulative lag effects were estimated.

[Results] There were a total of 208355 cardio-cerebrovascular disease outpatient visits in Luoyang from 2016 to 2018. $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} daily concentrations exceeded the national standard limits for 277 and 82 d respectively, followed by NO_2 , CO , and O_3 which were unqualified for 48, 9, and 8 d, respectively, and SO_2 did not exceed the standard. The single-pollutant models showed that the best lag days for $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 , CO , and O_3 were lag0, lag3, lag6, lag2, lag0, and lag04, and the corresponding RRs and 95% CIs were 1.0024 (1.0011-1.0037), 1.0017 (1.0010-1.0025), 0.9767 (0.9696-0.9840), 1.0277 (1.0236-1.0319), 1.0006 (1.0004-1.0007), and 1.0041 (1.0014-1.0069), respectively. In the double pollutant models, there was no significant difference in the effect values of each pollutant before and after the introduction of other pollutants ($P>0.05$). The results of gender stratification and age stratification analyses showed that NO_2 was the most affecting pollutant. The best lag days of NO_2 on the outpatient volume of cardio-cerebrovascular diseases in men and women were lag2 and lag01, and the corresponding RRs and 95% CIs were 1.0293 (1.0235-1.0351) and 1.0277 (1.0218-1.0335), respectively. The best lag days of NO_2 affecting the number of outpatient visits of cardio-cerebrovascular diseases in patients aged 0-40, 41-65, and over 65 years were lag4, lag3, and lag2, and the corresponding RRs and 95% CIs were 1.0359 (1.0009-1.0720), 1.0277 (1.0215-1.0339), and 1.0311 (1.0255-1.0367), respectively. The results of seasonal stratification analysis showed that the maximum effects of $\text{PM}_{2.5}$, SO_2 , NO_2 , and CO appeared in spring, and the corresponding RRs and 95% CIs were 1.0220 (1.0188-1.0253), 1.0733 (1.0570-1.0899), 1.0626 (1.0531-1.0721), and 1.0015 (1.0011-1.0019), respectively; the maximum effects of PM_{10} and O_3 appeared in summer, and the corresponding RRs and 95% CIs were 1.0130 (1.0089-1.0171) and 1.0184 (1.0133-1.0235), respectively.

[Conclusion] The increase in the concentration of major atmospheric pollutants ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , CO , and O_3) in Luoyang from 2016 to 2018 may lead to an increase in the number of outpatient visits for cardio-cerebrovascular diseases. Among them, NO_2 may produce the highest risk. All these pollutants have lag effects.

Keywords: air pollutant; cardiovascular and cerebrovascular diseases; generalized additive model; daily hospital outpatient visit; time-series analysis

心脑血管疾病泛指心脏血管疾病和脑血管疾病。《中国心血管病报告2018》显示我国心血管病患病人数约为2.9亿,心脑血管疾病导致的死亡占居民疾病死亡的40%以上,居我国居民死因首位^[1],且患者的年龄结构呈现年轻化趋势^[2-3]。心血管及脑血管疾病具有相同或类似的诱因,遗传、生活方式、其他疾病、生活环境等与其关系密切,且两类疾病往往相互关联^[4]。国内外研究表明大气污染物浓度与心脑血管疾病门诊率和死亡危险增加有关^[5-7]。以往国内研究侧重经济较发达地区或重污染地区^[8-9],但不同地区的自然、人文、经济条件不同,研究结果也存在差异,且多数研究仅对部分颗粒污染物或气态污染物进行研究,较少从年龄、季节和性别等多个层面考虑不同污染物对人体健康的影响^[10-12]。

洛阳市位于河南省西部,是河南省重要的工业基地。洛阳市境内地形复杂,其中山区占45.5%,丘陵占40.7%,平原占13.8%。洛阳市属暖温带大陆性季风气候,气候较为温和且四季分明。2018年,洛阳市常住居民人口达到688.8万人,且人口性别及年龄结构发展趋势良好,当年度GDP总量达到4640.8亿元,工业发展速度也在稳步上升。根据河南省环境状态公报,

洛阳市在2016和2017年均为中污染地区,2018年转为轻污染地区,但 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 和 O_3 四种污染物的第90百分位数浓度值超标,其中 $\text{PM}_{2.5}$ 是洛阳市2016—2018年的首要污染物^[13]。本研究基于广义相加泊松回归模型,探究2016—2018年洛阳市不同季节颗粒污染物和气态污染物浓度对当地不同性别和不同年龄层居民心脑血管疾病日门诊量的影响,为当地居民心脑血管疾病联防联控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 大气污染物数据及气象数据

洛阳市2016年1月1日—2018年12月31日的大气污染物浓度数据来自中国环境监测总站的全国城市空气质量实时发布平台,包括 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、 O_3 、 CO 。气象数据从中国气象数据网获得,包括日最低气温、日最高气温、日平均气温、日均相对湿度、日均气压、日均风速。

1.2 心脑血管疾病门诊数据

心脑血管疾病每日门诊数据来自洛阳市中心医院和洛阳市第一人民医院的信息系统,时间区间为2016年1月1日—2018年12月31日,选取的就诊者

居住地址为洛阳市范围内。根据《国际疾病分类》第十版的分类标准对心脑血管疾病进行统计,共获得208 355条心脑血管门诊数据,包括患者就诊日期、住址、年龄、性别等信息。本研究已获得郑州大学生命科学伦理审查委员会批准(编号:ZZUIRB 2020-50)。

1.3 时间序列分析

洛阳市2016年1月1日—2018年12月31日的每日门诊量近似服从泊松分布,因此本研究选用广义相加模型(generalized additive model, GAM),根据赤池信息量准则(Akaike information criterion, AIC)选择时间趋势、气象因子的自由度,并控制星期几效应和假期效应,以确定模型的稳定性。分别建立单污染物模型和双污染物模型,其中单污染物模型可以避免各大气污染物之间的共线性,双污染物模型是在某单污染物模型的基础上引入另一种污染物,可检验模型的稳定性。对性别、年龄(0~40岁、41~65岁、>65岁)和季节(以3—5月为春季;6—8月为夏季;9—11月为秋季;12—2月为冬季)进行分层研究。分别计算7 d内的单日滞后效应(lag0~lag7)和累积滞后效应(lag0~lag07),根据RR值最大原则确定最佳滞后时间。模型如下:

$$\ln[E(Y_t)] = \alpha + \beta_t \rho_t + ns(t_{time}, 9) + ns(Z_t, V_{df}) + V_{DOW} + V_{holiday}$$

式中, $\ln[]$ 为泊松分布的连接函数; Y_t 为第 t 天实际门诊人数; $E(Y_t)$ 为第 t 天门诊量期待值; α 为截距; β_t 为暴露-反应关系系数; ρ_t 为第 t 日大气污染物浓度值; ns 为三次回归样条; t_{time} 为长期趋势; V_{df} 为自由度; Z_t 为第 t 日的气象混杂因素; V_{DOW} 和 $V_{holiday}$ 分别为控制星期几效应和假期效应的哑变量。

1.4 统计学分析

本研究采用平均值(Mean)、百分位数(P_{25} 、 P_{50} 、 P_{75})、最大值(Max)、最小值(Min)对气象数据、污染物浓度数据、不同年龄及不同性别的门诊量数据进行描述。采用SPSS 22.0计算大气污染物与气象因子之间的Spearman相关系数,通过R 3.6.2中的“mgcv”包建立GAM,计算污染物质量浓度每升高1个单位($10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)的RR值及其95%CI,作为 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、CO和 O_3 的短期效应评价指标。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 数据概况

2016年1月1日—2018年12月31日,洛阳市心脑血管疾病门诊量共208 355例(其中547例缺失性别

信息,576例缺失年龄信息)。男性门诊量为104 991例,女性门诊量为102 817例;0~40、41~65、65岁以上的门诊量分别为3 053、92 055、112 671例。

本研究中大气污染物 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、 O_3 三年平均质量浓度分别为69.78、124.29、26.65、43.32、63.00 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,CO为1.58 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,根据国家《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)的二级日均质量浓度限值标准,发现 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 是超国家二级标准天数最多的两种污染物(分别超标277、82 d), NO_2 、CO和 O_3 超标天数较少(分别超标48、9、8 d), SO_2 未超标。该市三年平均日均温度、日均相对湿度、日均风速、日均气压分别为15.5 $^{\circ}\text{C}$ 、58%、2.8 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、978 hPa。见表1。

表1 2016—2018年洛阳市大气污染物及气象因子水平分布
Table 1 Distribution of air pollutants and meteorological factors in Luoyang from 2016 to 2018

大气污染物和气象因子	Min	P_{25}	P_{50}	P_{75}	Max	Mean	二级标准	超标天数
大气污染物质量浓度								
$\text{PM}_{2.5}/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	7.88	36.67	53.69	81.31	487.29	69.78	75	82
$\text{PM}_{10}/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	21.17	70.65	105.33	151.14	599.25	124.29	150	277
$\text{SO}_2/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	4.29	14.75	21.88	33.04	142.04	26.65	150	0
$\text{NO}_2/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	11.83	29.04	39.74	54.39	109.42	43.32	80	48
$\text{O}_3/(\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})$	3.75	32.99	53.38	89.18	189.61	63.00	160	8
CO/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	0.55	1.17	1.43	1.82	6.35	1.58	4	9
气象因子								
日均温度/ $^{\circ}\text{C}$	-7.5	7.2	16.5	24.2	32.0	15.5	—	—
日均相对湿度/%	11	42	58	75	98	58	—	—
日均风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0.1	2.0	2.6	3.4	8.3	2.8	—	—
日均气压/hPa	960	971	978	985	1003	978	—	—

2.2 大气污染物与气象因子的相关性

$\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、CO、日均气压之间呈正相关,与 O_3 和日均温度呈负相关($P<0.05$);日均相对湿度与 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、日均风速、日均气压之间呈负相关,与CO、日均温度呈正相关($P<0.05$);风速与 PM_{10} 、日均气压呈正相关,与 SO_2 、 NO_2 、CO、日均温度之间呈负相关($P<0.05$); $\text{PM}_{2.5}$ 、 O_3 与日均相对湿度、日均风速之间无相关性。见表2。

2.3 单污染物模型

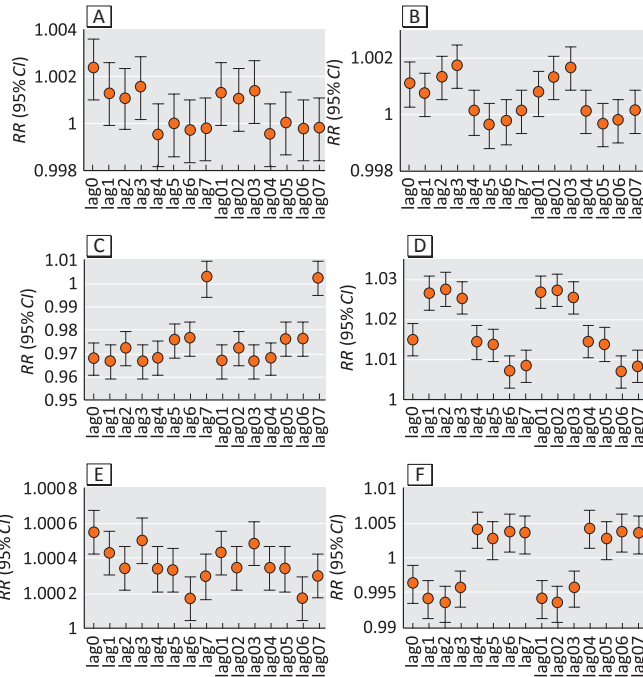
如图1所示,全人群的单日滞后和累积滞后效应的研究结果稍有差异,但整体上两种滞后效应的变化趋势是一致的, $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、CO和 O_3 的最佳滞后时间分别为lag0、lag3、lag6、lag2、lag0、lag04,RR及其95%CI分别为1.0024(1.0011~1.0037)、1.0017(1.0010~1.0025)、0.9767(0.9696~0.9840)、1.0277(1.0236~1.0319)、1.0006(1.0004~1.0007)、1.0041(1.0014~1.0069)。

表2 2016—2018年洛阳市大气污染物与气象因子的Spearman相关系数

Table 2 Spearman correlation coefficient between air pollutants and meteorological factors in Luoyang from 2016 to 2018

大气污染物和气象因子	PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂	NO ₂	O ₃	CO	日均温度	日均相对湿度	日均风速
PM ₁₀	0.916 ^a	1							
SO ₂	0.472 ^a	0.541 ^a	1						
NO ₂	0.643 ^a	0.661 ^a	0.655 ^a	1					
O ₃	-0.389 ^a	-0.369 ^a	-0.330 ^a	-0.622 ^a	1				
CO	0.572 ^a	0.463 ^a	0.411 ^a	0.404 ^a	-0.247 ^a	1			
日均温度	-0.421 ^a	-0.430 ^a	-0.463 ^a	-0.531 ^a	0.798 ^a	-0.170 ^a	1		
日均相对湿度	0.019	-0.182 ^a	-0.566 ^a	-0.257 ^a	-0.009	0.213 ^a	0.204 ^a	1	
日均风速	-0.038	0.080 ^a	-0.074 ^b	-0.123 ^a	0.044	-0.342 ^a	-0.148 ^a	-0.263 ^a	1
日均气压	0.310 ^a	0.341 ^a	0.437 ^a	0.496 ^a	-0.726 ^a	0.093 ^a	-0.90 ^a	-0.251 ^a	0.081 ^a

[注] a : $P<0.05$; b : $P<0.01$ 。



[注] A : PM_{2.5} ; B : PM₁₀ ; C : SO₂ ; D : NO₂ ; E : CO ; F : O₃。

图1 2016—2018年洛阳市大气污染物对居民心脑血管疾病门诊量滞后效应的单污染物模型结果

Figure 1 Single-pollutant model results of lag effect of air pollutants on outpatient visits for cardio-cerebrovascular diseases in Luoyang from 2016 to 2018

2.4 双污染物模型

如表2所示,PM_{2.5}与PM₁₀之间相关系数高达0.916,为避免模型中多重共线性问题,双污染物模型中未同时引入PM₁₀与PM_{2.5}。除PM_{2.5}和PM₁₀分别引入NO₂和CO外,其余各污染物调整前后结果均有统计学意义($P<0.05$)。见表3。

2.5 分层分析

2.5.1 性别分层 性别分层结果如表4所示,PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO、O₃对男性居民的最佳滞后时间分别为lag3、lag3、lag05、lag2、lag3、lag04,对应的RR及其95%CI分别为1.0037(1.0018~1.0055)、1.0025(1.0014~1.0036)、0.9793(0.9691~0.9896)、1.0293

表3 2016—2018年洛阳市大气污染物对洛阳市居民心脑血管疾病门诊量滞后效应的双污染物模型结果

Table 3 Double-pollutant model results of lag effect of air pollutants on outpatient visits for cardio-cerebrovascular diseases in Luoyang from 2016 to 2018

污染物	调整污染物	RR (95% CI)
PM _{2.5} (lag0)	—	1.0024 (1.0011~1.0037) **
	SO ₂	1.0052 (1.0038~1.0066) **
	NO ₂	0.9986 (0.9970~1.0003)
	CO	0.9943 (0.9924~0.9963)
	O ₃	1.0014 (1.0001~1.0028) **
PM ₁₀ (lag3)	—	1.0017 (1.0010~1.0025) **
	SO ₂	1.0032 (1.0024~1.0040) **
	NO ₂	0.9992 (0.9983~1.0001)
	CO	0.9995 (0.9986~1.0005)
	O ₃	1.0010 (1.0002~1.0018) **
SO ₂ (lag6)	—	0.9767 (0.9694~0.9840) **
	PM _{2.5}	0.9746 (0.9670~0.9823) **
	PM ₁₀	0.9753 (0.9678~0.9829) **
	NO ₂	0.9652 (0.9573~0.9732) **
	CO	0.9689 (0.9612~0.9767) **
NO ₂ (lag2)	—	1.0277 (1.0236~1.0319) **
	PM _{2.5}	1.0402 (1.0351~1.0454) **
	PM ₁₀	1.0346 (1.0297~1.0400) **
	SO ₂	1.0442 (1.0396~1.0489) **
	CO	1.0308 (1.0257~1.0360) **
CO (lag0)	—	1.0006 (1.0004~1.0007) **
	PM _{2.5}	1.0008 (1.0007~1.0010) **
	PM ₁₀	1.0008 (1.0006~1.0010) **
	SO ₂	1.0009 (1.0008~1.0010) **
	NO ₂	1.0003 (1.0002~1.0005) **
O ₃ (lag04)	—	1.0004 (1.0003~1.0006) **
	PM _{2.5}	1.0004 (1.0003~1.0006) **
	PM ₁₀	1.0004 (1.0003~1.0006) **
	SO ₂	1.0004 (1.0003~1.0006) **
	NO ₂	1.0004 (1.0003~1.0006) **

[注] ** : $P<0.05$ 。

(1.023 5~1.035 1)、1.000 7 (1.000 5~1.000 8)、1.003 9 (1.000 1~1.007 8)。PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO、O₃对女性居民的最佳滞后时间分别为lag0、lag0、lag6、lag01、lag0、lag7 (限于小数的显示位数, 实际lag7的RR略大于lag07), 其RR及95%CI分别为1.002 8 (1.001 0~1.004 7)、1.001 7 (1.000 6~1.002 8)、0.980 7 (0.970 4~0.991 1)、1.027 7 (1.021 8~1.033 5)、1.000 5 (1.000 3~1.000 7)、1.006 3 (1.002 5~1.010 2)。其中NO₂是对男性和女性心脑血管疾病影响最大的污染物。6种污染物对男女性居民的影响均有统计学意义 ($P<0.05$)。

2.5.2 年龄分层 年龄分层研究结果显示, PM_{2.5}、NO₂、CO和O₃对各年龄层人群的心脑血管疾病门诊量影响均有统计学意义 ($P<0.05$), PM₁₀与SO₂仅对40岁以上人群的心脑血管疾病门诊量影响有统计学意义 ($P<0.05$); NO₂是对所有年龄段人群危害性最大的污染物, NO₂对0~40、41~65、65岁以上人群心脑血管疾病门诊量影响的最佳滞后时间为分别为lag4、lag3、lag2, 对应的RR及95%CI为1.035 9 (1.000 9~1.072 0)、1.027 7 (1.021 5~1.033 9)、1.031 1 (1.025 5~1.036 7)。见表5。

表4 2016—2018年洛阳市大气污染物对不同性别居民心脑血管疾病门诊量的最大滞后效应

Table 4 Maximum lag effect of air pollutants on outpatient volume of cardio-cerebrovascular diseases among residents of different genders in Luoyang from 2016 to 2018

污染物	男性		女性	
	最佳滞后时间	RR (95%CI)	最佳滞后时间	RR (95%CI)
单日滞后效应				
PM _{2.5}	lag3	1.003 7 (1.001 8~1.005 5) *	lag0	1.002 8 (1.001 0~1.004 7) *
PM ₁₀	lag3	1.002 5 (1.001 4~1.003 6) *	lag0	1.001 7 (1.000 6~1.002 8) *
SO ₂	lag5	0.978 8 (0.968 6~0.989 1) *	lag6	0.980 7 (0.970 4~0.991 1) *
NO ₂	lag2	1.029 3 (1.023 5~1.035 1) *	lag1	1.027 6 (1.021 8~1.033 5) *
CO	lag3	1.000 7 (1.000 5~1.000 8) *	lag0	1.000 5 (1.000 3~1.000 7) *
O ₃	lag4	1.003 9 (1.000 1~1.007 7) *	lag7	1.006 3 (1.002 5~1.010 2) *
累积滞后效应				
PM _{2.5}	lag03	1.003 4 (1.001 6~1.005 3) *	lag0	1.002 8 (1.001 0~1.004 7) *
PM ₁₀	lag03	1.002 4 (1.001 3~1.003 5) *	lag0	1.001 7 (1.000 6~1.002 8) *
SO ₂	lag05	0.979 3 (0.969 1~0.989 6) *	lag06	0.980 4 (0.970 0~0.990 8) *
NO ₂	lag02	1.029 2 (1.023 4~1.035 0) *	lag01	1.027 7 (1.021 8~1.033 5) *
CO	lag03	1.000 6 (1.000 5~1.000 8) *	lag0	1.000 5 (1.000 3~1.000 7) *
O ₃	lag04	1.003 9 (1.000 1~1.007 8) *	lag07	1.006 3 (1.002 5~1.010 2) *

[注] *: $P<0.05$ 。

表5 2016—2018年洛阳市大气污染物对不同年龄居民心脑血管疾病门诊量的最大滞后效应

Table 5 Maximum lag effect of air pollutants on outpatient volume of cardio-cerebrovascular diseases among residents of different ages in Luoyang from 2016 to 2018

污染物	0~40岁		41~65岁		>65岁	
	最佳滞后时间	RR (95%CI)	最佳滞后时间	RR (95%CI)	最佳滞后时间	RR (95%CI)
单日滞后效应						
PM _{2.5}	lag6	1.011 8 (1.000 8~1.022 9) *	lag0	1.002 9 (1.000 9~1.004 8) *	lag2	1.002 4 (1.000 6~1.004 1) *
PM ₁₀	lag6	1.006 2 (0.999 7~1.012 8)	lag3	1.001 7 (1.000 5~1.002 8) *	lag2	1.002 1 (1.001 0~1.003 2) *
SO ₂	lag7	1.029 4 (0.996 3~1.096 7)	lag6	0.980 6 (0.969 5~0.991 7) *	lag2	0.979 7 (0.970 0~0.989 5) *
NO ₂	lag4	1.035 9 (1.000 9~1.072 0) *	lag3	1.027 7 (1.021 5~1.033 9) *	lag2	1.031 1 (1.025 5~1.036 7) *
CO	lag5	1.001 7 (1.000 6~1.002 7) *	lag0	1.000 5 (1.000 3~1.000 7) *	lag0	1.000 6 (1.000 4~1.000 8) *
O ₃	lag6	0.977 9 (0.956 5~0.999 8) *	lag0	0.995 4 (0.991 4~0.999 5) *	lag4	1.004 6 (1.000 9~1.008 3) *
累积滞后效应						
PM _{2.5}	lag06	1.011 7 (1.000 8~1.022 8) *	lag0	1.002 9 (1.001 0~1.004 8) *	lag02	1.002 4 (1.000 6~1.004 2) *
PM ₁₀	lag06	1.006 2 (0.999 7~1.012 8)	lag03	1.001 6 (1.000 4~1.002 7) *	lag02	1.002 1 (1.001 0~1.003 1) *
SO ₂	lag07	1.029 1 (0.966 0~1.096 3)	lag06	0.980 1 (0.969 0~0.991 2) *	lag02	0.979 5 (0.969 8~0.989 3) *
NO ₂	lag04	1.035 7 (1.000 7~1.071 8) *	lag03	1.025 0 (1.018 8~1.031 2) *	lag02	1.031 0 (1.025 4~1.036 6) *
CO	lag05	1.001 7 (1.000 6~1.002 7) *	lag0	1.000 5 (1.000 3~1.000 7) *	lag0	1.000 6 (1.000 4~1.000 8) *
O ₃	lag06	0.977 8 (0.956 4~0.999 7) *	lag0	0.995 4 (0.991 4~0.999 5) *	lag04	1.004 7 (1.001 0~1.008 4) *

[注] *: $P<0.05$ 。

2.5.3 季节分层 季节分层结果显示, PM_{2.5}、SO₂、NO₂和CO最大效应值出现在春季, 最佳滞后时间分别为lag03、lag1、lag1、lag03, 对应的RR及其95%CI分别为1.022 0 (1.018 8~1.025 3)、1.073 3 (1.057 0~1.089 9)、

1.062 6 (1.053 1~1.072 1)、1.001 5 (1.001 1~1.001 9); PM₁₀和O₃最大效应值出现在夏季, 最佳滞后时间分别为lag1、lag4, 对应的RR及其95%CI分别为1.013 0 (1.008 9~1.017 1)、1.018 4 (1.013 3~1.023 5)。见表6。

表6 2016—2018年洛阳市大气污染物在不同季节对居民心脑血管疾病门诊量的最大滞后效应
Table 6 Maximum lag effect of air pollutants on outpatient volume of cardio-cerebrovascular diseases in different seasons in Luoyang from 2016 to 2018

污染物	春			夏			污染物	秋			冬		
	最佳滞后时间	RR (95% CI)		最佳滞后时间	RR (95% CI)			最佳滞后时间	RR (95% CI)		最佳滞后时间	RR (95% CI)	
单日滞后效应							单日最大滞后效应分布						
PM _{2.5}	lag2	1.0218	(1.0186~1.0250) *	lag1	1.0194	(1.0126~1.0262) *	PM _{2.5}	lag5	0.9933	(0.9898~0.9967) *	lag1	0.9969	(0.9950~0.9989) *
PM ₁₀	lag2	1.0078	(1.0064~1.0092) *	lag1	1.0130	(1.0089~1.0171) *	PM ₁₀	lag5	0.9961	(0.9941~0.9981) *	lag6	0.9985	(0.9972~0.9999) *
SO ₂	lag1	1.0733	(1.0570~1.0899) *	lag6	0.9384	(0.9082~0.9698) *	SO ₂	lag7	0.9783	(0.9583~0.9987) *	lag6	0.9831	(0.9716~0.9949) *
NO ₂	lag1	1.0626	(1.0531~1.0721) *	lag2	0.9835	(0.9685~0.9986) *	NO ₂	lag7	1.0120	(1.0026~1.0214) *	lag1	1.0394	(1.0326~1.0462) *
CO	lag2	1.0014	(1.0010~1.0019) *	lag0	1.0008	(1.0003~1.0013) *	CO	lag6	0.9992	(0.9990~0.9995) *	lag1	1.0004	(1.0002~1.0006) *
O ₃	lag5	1.0135	(1.0075~1.0196) *	lag4	1.0184	(1.0133~1.0235) *	O ₃	lag4	1.0173	(1.0093~1.0253) *	lag0	0.9759	(0.9670~0.9849) *
累积滞后效应							累积最大滞后效应分布						
PM _{2.5}	lag03	1.0220	(1.0188~1.0253) *	lag05	1.0132	(1.0064~1.0201) *	PM _{2.5}	lag07	1.0040	(1.0005~1.0074) *	lag05	0.9933	(0.9899~0.9967) *
PM ₁₀	lag03	1.0078	(1.0064~1.0092) *	lag03	0.9903	(0.9861~0.9945) *	PM ₁₀	lag07	1.0028	(1.0008~1.0048) *	lag05	0.9961	(0.9940~0.9981) *
SO ₂	lag01	1.0757	(1.0597~1.0921) *	lag01	0.9464	(0.9149~0.9789) *	SO ₂	lag07	0.9713	(0.9519~0.9911) *	lag06	0.9119	(0.8935~0.9306) *
NO ₂	lag01	1.0594	(1.0501~1.0687) *	lag07	1.0208	(1.0022~1.0397) *	NO ₂	lag07	1.0173	(1.0083~1.0264) *	lag07	1.0092	(1.0026~1.0158) *
CO	lag03	1.0015	(1.0011~1.0019) *	lag0	1.0008	(1.0003~1.0013) *	CO	lag07	1.0003	(1.0001~1.0006) *	lag07	0.9993	(0.9991~0.9996) *
O ₃	lag04	1.0134	(1.0074~1.0194) *	lag05	1.0173	(1.0119~1.0330) *	O ₃	lag07	1.0182	(1.0101~1.0264) *	lag04	1.0168	(1.0088~1.0248) *

[注] * : $P<0.05$ 。

3 讨论

本研究对洛阳市2016年1月1日—2018年12月31日大气污染物浓度对当地居民心脑血管疾病门诊量的时间序列分析结果显示,各污染物浓度对门诊量皆有影响,且存在滞后效应。Wang等^[14]研究发现,中国地区人群暴露于较高浓度的空气污染物与C-反应蛋白和冠状动脉钙化评分等心脑血管相关标志物的升高有关。丁亚萍^[15]对石家庄污染物与心脑血管疾病门诊量之间关系的研究发现:PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂、CO的单日滞后效应在lag0最强,累积滞后效应在lag06最强;PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂日均质量浓度每增加10μg·m⁻³,CO日均质量浓度增加0.10mg·m⁻³,单日滞后模型中心脑血管疾病日门诊量分别增加0.42%、0.26%、0.92%、1.84%,0.44%;累积滞后模型中心脑血管疾病日门诊量分别增加0.61%、0.37%、1.35%、2.89%、0.82%,气态污染物对心脑血管疾病门诊量影响的效应大于颗粒物的效应值。Li等^[16]对北京市的研究结果表明,PM_{2.5}日均质量浓度每升高10μg·m⁻³,心血管疾病门诊量增加0.74%。王在翔等^[17]对潍坊市研究发现,PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、NO₂日均质量浓度每增加10μg·m⁻³,心脑血管疾病门诊量分别增加0.27%、0.35%、0.69%、0.39%,不同地区的研究结果存在差异,可能是由于自然条件、人文因素、社会因素等不同所造成的。

本研究的双污染物模型结果显示,与单污染物模

型相比,各污染物引入其余污染物后的结果基本保持一致,说明单污染物模型稳定性良好^[12, 18]。性别分层结果显示6种污染物对男女的影响均有统计学意义,其中PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、CO对男性门诊量影响的RR更大,但女性最佳滞后期出现更早;SO₂对女性门诊量影响的RR更大,但男性最佳滞后期出现更早。Ma等^[19]对北京市的研究发现,PM_{2.5}浓度升高导致缺血性心脏病或高血压的女性多于男性,而男性的心律失常发生率高于女性,男性患心血管疾病的最佳滞后时间早于女性。张加生等^[20]发现吸烟和血脂异常会影响不同性别人群患心脑血管疾病的风险,其中男性血脂异常比例明显低于女性,吸烟比例明显高于女性。

本研究对于年龄分层的结果显示,40岁以上人群门诊量的最佳滞后时间早于40岁以下人群,其中65岁以上人群门诊量最佳滞后时间出现在4d以内。与本研究结果相似,Ma等^[19]研究发现,北京市PM_{2.5}对心血管疾病的滞后效应在60~75岁组出现最早。对于PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、CO这些受关注的污染物,当浓度较高时,老年人会有意识避免外出,降低暴露风险,而40岁以下人群由于工作学习等原因,难以避免外出和暴露,因此效应值更高;对于不易被察觉的O₃污染,老年人不会有意识减少外出和暴露,且本身较多患有基础性疾病,因此受O₃影响的效应值更高,且最大滞后效应也出现更快^[18]。

本研究的季节分层结果表明,PM_{2.5}、SO₂、NO₂和

CO对心脑血管疾病的门诊量增加的最大效应出现在春季,PM₁₀和O₃的最大效应出现在夏季。与本研究不同的是,丁亚萍^[15]和Kan等^[21]发现大气污染物的危害效应表现为冷季高于暖季。洛阳是重工业化城市,地处盆地,空气流通性比较差,在风速较低的春季,污染物不易扩散,因此表现出与其他研究地区不同的结果。

本研究存在一定局限性:首先,本研究使用的大气污染物浓度数据为整个洛阳市的日均值,无法反映出个体的污染物暴露水平,接下来的研究可通过空间插值的方法,得到乡镇或村落尺度的大气污染物浓度数据,以提高研究的精细程度。其次,本研究选取的影响因子有限,Pang等^[6]对中国人群心脑血管疾病的危险因素研究中指出,影响心脑血管疾病的环境风险因素不仅包括气象因素和室外污染物浓度,还包括室内空气质量;因此建议未来研究中加入能够直接或间接反映室内空气质量的相关数据,以增强研究结果的准确度。最后,不同地区污染物组成成分不同,研究结果也存在差异,因此本研究结果不能外推至洛阳市以外地区。

综上,本研究发现洛阳市PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、CO、O₃浓度升高可能会导致当地居民心脑血管疾病门诊量增加,其中NO₂是造成风险最高的一种污染物,而SO₂仅在春季可能导致居民心脑血管疾病门诊量增加,且各污染物的影响存在滞后性。研究结果可用于提高洛阳市心脑血管疾病防控的针对性、预见性和主动性,对相关公共卫生政策的制定具有重要积极意义。

参考文献

- [1] 胡盛寿,高润霖,刘力生,等.《中国心血管病报告2018》概要[J].中国循环杂志,2019,34(3):209-220.
HU SS, GAO RL, LIU LS, et al. Summary of the 2018 report on cardiovascular diseases in China [J]. Chin Circ J, 2019, 34(3): 209-220.
- [2] 张秋,黄山,钟鑫,等.广西南宁市壮族成年人心血管疾病危险因素的流行与聚集情况分析[J].现代预防医学,2020,47(7):1167-1170,1201.
ZHANG Q, HUANG S, ZHONG X, et al. Prevalence and clustering of cardiovascular risk factors among Zhuang adult in Nanning, Guangxi [J]. Mod Prev Med, 2020, 47(7): 1167-1170, 1201.
- [3] 王敏,何江,管慧,等.2015—2018年黔南地区居民心脑血管疾病发病的流行病学特征分析[J].现代预防医学,2019,46(24):4417-4420.
WANG M, HE J, GUAN H, et al. Analysis of epidemiological characteristics of cardiovascular Cardiovascular disease in Qiannan region between 2015 and 2018 [J]. Mod Prev Med, 2019, 46(24): 4417-4420.
- [4] 吴明,颜廷梅,潘磊磊,等.辽宁省心血管疾病高危人群检出率及其影响因素分析[J].中国公共卫生,2019,35(2):139-143.
WU M, YAN T M, PAN L L, et al. Detection rate for population at high-risk of cardiovascular diseases and its influencing factors in Liaoning province [J]. Chin J Public Health, 2019, 35(2): 139-143.
- [5] 陈鑫,王临池,郭倩岚,等.苏州市大气PM_{2.5}浓度与心脑血管疾病死亡的时间序列分析[J].中华疾病控制杂志,2019,23(6):661-666.
CHEN X, WANG LC, GUO QL, et al. Association between PM_{2.5} pollution in ambient air and cardio-cerebrovascular mortality in Suzhou in 2016: a time series analysis [J]. Chin J Dis Control Prev, 2019, 23(6): 661-666.
- [6] PANG Y, LYU J, YU C, et al. Risk factors for cardiovascular disease in the Chinese population: recent progress and implications [J]. Glob Health J, 2020, 4(3): 65-71.
- [7] 吴钦城.大气污染对心脑血管疾病及其危险因素影响的研究[D].青岛:青岛大学,2019.
WU Q C. Effects of air pollution on cardiovascular and cerebrovascular diseases and their risk factors [D]. Qingdao: Qingdao University, 2019.
- [8] 楚梦天,南海龙,马莹,等.北京市城市森林环境中人群心肺功能及心理情绪相关指标的短期变化[J].环境与职业医学,2020,37(2):162-167,180.
CHU MT, NAN H L, MA Y, et al. Short-term changes of cardiopulmonary functions and psycho-emotional indicators of general population in urban forest environment in Beijing [J]. J Environ Occup Med, 2020, 37(2): 162-167, 180.
- [9] 常倩,叶云杰,汪庆庆,等.南京市大气污染物与居民心脑血管疾病死亡的相关性[J].环境与职业医学,2017,34(12):1041-1045.
CHANG Q, YE Y J, WANG Q Q, et al. Correlation between air pollutants and cardio-cerebrovascular mortality in Nanjing [J]. J Environ Occup Med, 2017, 34(12): 1041-1045.
- [10] 咸平,闫梦璠,李耀妍,等.PM₁₀长期暴露与中国北方城市居民慢性支气管炎发病风险的回顾性队列研究[J].环

- 境与职业医学, 2020, 37 (2) : 95-102.
- XIAN P, YAN M F, LI Y Y, et al. Long-term exposure to PM₁₀ and risk of chronic bronchitis of residents in northern China : a retrospective cohort study [J] . J Environ Occup Med, 2020, 37 (2) : 95-102.
- [11] 张俏麓, 王童, 陈婕, 等. 北京市某城区不同粒径和来源大气颗粒物对健康成人血压影响的定组研究 [J] . 环境与职业医学, 2020, 37 (4) : 306-313.
- ZHANG Q C, WANG T, CHEN J, et al. A panel study on effects of ambient particles of different sizes and from different sources on blood pressure in healthy adults in an urban area of Beijing [J] . J Environ Occup Med, 2020, 37 (4) : 306-313.
- [12] 芦静, 张晓梅, 冯晓冬. 包头市大气臭氧污染对人群循环系统疾病死亡的急性效应 [J] . 环境与职业医学, 2019, 36 (4) : 381-387.
- LU J, ZHANG X M, FENG X D. Acute effect of ambient ozone pollution on death from circulatory diseases in Baotou City [J] . J Environ Occup Med, 2019, 36 (4) : 381-387.
- [13] 河南省环境保护厅. 河南省环境状况公报 [EB/OL] . [2020-08-08] . <http://sthjt.henan.gov.cn/xxgk/zfxgk/xxgkml/ztfh/hjzlxx/hnshjzkgb/>.
- Department of Environment Protection of Henan Province. Henan environment statement [EB/OL] . [2020-08-08] . <http://sthjt.henan.gov.cn/xxgk/zfxgk/xxgkml/ztfh/hjzlxx/hnshjzkgb/>.
- [14] WANG M, HOU Z H, XU H, et al. Association of estimated long-term exposure to air pollution and traffic proximity with a marker for coronary atherosclerosis in a nationwide study in China [J] . JAMA Netw Open, 2019, 2 (6) : e196553.
- [15] 丁亚萍. 大气污染物和气温对心脑血管疾病日门诊量的健康效应研究 [D] . 太原 : 山西医科大学, 2019.
- DING Y P. The health effects of atmospheric pollutants and temperature on daily cardiovascular outpatient visits [D] . Taiyuan : Shanxi Medical University, 2019.
- [16] LI G, LAN H, LIU Z, et al. The association between short-term exposure to fine particulate matter and outpatient visit in Beijing, China [J] . Iran J Public Health, 2017, 46 (11) : 1486-1494.
- [17] 王在翔, 赵晶, 牛泽亮, 等. 空气污染对心脑血管疾病门诊量影响的 Poisson 广义可加模型分析 [J] . 中国卫生统计, 2017, 34 (2) : 232-235.
- WANG Z X, ZHAO J, NIU Z L, et al. Influence of air pollution on the outpatient volume of cardiovascular and cerebrovascular diseases using the Poisson generalized additive models in Weifang [J] . Chin J Health Stat, 2017, 34 (2) : 232-235.
- [18] 王鸿, 高俊宏, 方乐, 等. 西安市大气 PM_{2.5} 短期暴露对人群心脑血管系统疾病死亡的影响 [J] . 环境与职业医学, 2020, 37 (10) : 975-980.
- WANG H, GAO J H, FANG L, et al. Effects of short-term exposure to atmospheric PM_{2.5} on deaths due to cardiovascular and cerebrovascular diseases in Xi'an [J] . J Environ Occup Med, 2020, 37 (10) : 975-980.
- [19] MA Y, YANG S, YU Z, et al. A study on the short-term impact of fine particulate matter pollution on the incidence of cardiovascular diseases in Beijing, China [J] . Atmos Environ, 2019, 215 : 116889.
- [20] 张加生, 李科, 周卫国, 等. 苏州某社区老年慢病患者心脑血管疾病 10 年风险评估及危险因素分析 [J] . 中华老年心脑血管病杂志, 2019, 21 (11) : 1178-1181.
- ZHANG J S, LI K, ZHOU W G, et al. Assessment of 10-year risks and analysis of risk factors for cardio-cerebrovascular diseases in the elderly in a community of Suzhou [J] . Chin J Geriatr Heart Brain Vessel Dis, 2019, 21 (11) : 1178-1181.
- [21] KAN H, LONDON S J, CHEN G H, et al. Season, sex, age, and education as modifiers of the effects of outdoor air pollution on daily mortality in Shanghai, China : the public health and air pollution in Asia (PAPA) study [J] . Environ Health Perspect, 2008, 116 (9) : 1183-1188.

(英文编辑 : 汪源 ; 责任编辑 : 汪源)